

3次元レイアウト検討用CAD

関根弘隆 寺嶋廣克

日本電気(株) C&Cシステム研究所

部品の3次元レイアウトを検討するためのCADシステムを試作した。発泡スチロールを切って並べるような直接操作的なユーザインタフェースを特徴とし、建築設計、筐体内部の部品配置検討等に利用可能である。本稿では、同システムにおける機能及び手法として、発泡スチロールを並べるようなレイアウト操作体系、部品間の階層関係の導入、カットによる形状変形、視点変更における参照水平面の利用について述べ、さらに具体的な応用例として、人工衛星の搭載機器レイアウトへの適用事例について述べる。

A CAD System For 3-D Layout Planning

Hiroataka Sekine Hirokatsu Terajima

C&C Systems Research Laboratories, NEC Corporation

1-1, Miyazaki 4-chome, Miyamae-ku, Kawasaki, Kanagawa 213, Japan

A CAD system that assists designers to plan 3-D layout of parts has been developed. The system is characterized by its user interface of the direct manipulation type, simulating cutting and arranging action with foam polystyrene pieces. It is applicable to architectural design or inside parts layout design of industrial products. The functions and techniques of the system such as the layout operation set simulating arrangement of foam polystyrene pieces, introduction of the hierarchical relation between parts, shape transformation using cut operation and utilization of the reference horizontal plane in viewpoint changing are described. The example of its application to onboard equipments layout design of artificial satellites are also described.

1 はじめに

設計作業において、部品や機器のレイアウトを検討するという場面は数多い。例えば、オフィスや住居において机や家具の配置を検討する場合などもその一例である。

このような場合、紙の上に配置パターンを図を描いて検討するという方法も考えられるが、それよりも、部品を型どった紙片と方眼紙を用意し、紙片を方眼紙の上で並べ替えながら検討したほうが効率的である。

レイアウト検討は、このような形態で試行錯誤的に進められることが多いので、従来の製図ソフトやソリッドモデラを用いて作業のCADを図っても期待ほど効果が上がらない。

そこで、筆者らは、試行錯誤的に配置検討ができるように、発泡スチロール片をパネル上に並べるような直接操作的なユーザインタフェースを持った3次元レイアウト検討用CADを試作しようと考えた。

実際、3次元レイアウト検討に、発泡スチロール片を切って、並べてみるという作業を行う場合がある。

このようなユーザフレンドリなインタフェースを持ち、さらに、数値による整列化、シミュレーションによる配置パターンチェック等といったCAD特有の機能を組み込むことによって、従来にないレイアウト検討ツールが実現できると考えた。

試作したシステムを、具体的な応用として、人工衛星の搭載機器レイアウト設計への適用を試みた。

その結果、レイアウト検討作業において、マシプロバティシミュレーション機能を用いて衛星の重量バランスを確認しつつ、機器の並べ替え操作を自由に何度でも試せるようになり、従来の手作業による場合と比較して、検討期間の短縮を図ることができた。

以上の結果から、3次元レイアウト検討を支援するツールとして、本システムのようなアプローチの有効性を確認した。

2 本システムの特徴

本システムの特徴は次の3つの言葉で言い表される。

- 簡単に部品を動かすことができる。
- 簡単に部品形状を変形できる。
- 簡単に視点位置を変更できる。

この特徴を実現するために以下の方策をとった。

(1) 発泡スチロール片を並べるようなレイアウト操作体系

部品のレイアウト操作の体系を、発泡スチロール片を並べる作業を模した形に設計した。部品の移動は、マウスによる直接操作で行い、レイアウト操作における位置ぎめは、絶対座標値によらず、他の図形要素を参照する

相対的な位置ぎめによって行うようにした。

3次元空間における相対的な位置ぎめが有効であることは、SKITTER&JACKと呼ぶ3次元位置ぎめツールを提案している[1]でも述べられている。

(2) 部品間の階層関係の導入

部品を動かすとその上に載っている部品も一緒に動くのが自然である。そこで、部品間に階層関係を導入し、階層関係に基づき部品が動くようにした。また、階層関係は、部品を配置することにより自動的に生成されるようにした。

部品間の位置関係をモデル化する試みをさらに発展させると、[2]において提案されているようなアセンブリモデラになる。

(3) 平面カーソルによるカット+寸法値による変形

平面カーソル[3]は、カッターのような形状変形ツールであり、立体形状を視覚的に切断できる。本システムでは、平面カーソルによっておおまかに部品形状を変形し、必要になった時点で寸法値を入力することにより正確な形状に修正できるようにした。

寸法値による形状変形を矛盾なく行えるようにするために凸多面体ベースの形状データ構造を採用した。

(4) 視点変更操作における参照水平面の利用

[4]で視点回転を自由度2のマウス操作で行う方法について述べたが、本システムでは、これを発展させて、参照水平面を用いた方法を提案する。参照水平面は、立体を観察する仮想的なステージのようなものである。参照水平面を適当な位置に設定すると、参照水平面付近の部品を見つめながら、マウス操作で自由に視点を変更できる。

3 部品のレイアウト操作

部品のレイアウト操作は、発泡スチロール片をパネル上に並べるのを模して設計した。図1のような操作体系になっている。

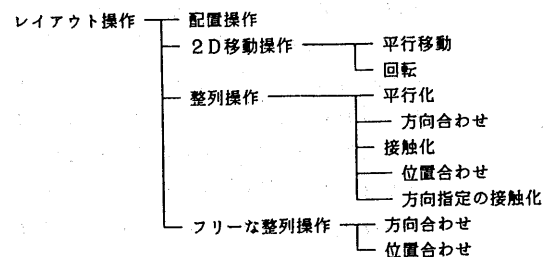


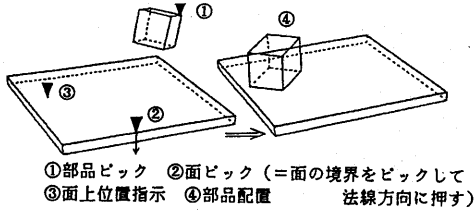
図1 レイアウト操作体系

3.1 部品の配置操作

部品の配置操作は、発泡スチロール片を指定したパネル上におおまかに置くような操作である(図2)。

部品を他の部品上に載せることが簡単に行える。

部品を配置すると、配置した面がその部品にとっての基準の座標系となる。



①部品ピック ②面ピック (=面の境界をピックして
③面上位置指示 ④部品配置 法線方向に押す)

図2 配置操作

3.2 部品の2D移動操作

部品の2D移動操作は、発泡スチロール片をパネルに沿って自由に動かすような操作である(図3)。

マウスを動かすと、部品が配置面(=配置した面)に沿ってドラッグ的に動く。配置した面上で、おおまかに部品を並べ替えるのに用いられる。

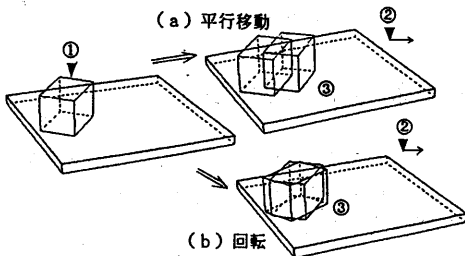
平行移動と回転がありマウスボタンにより選択される。

(1) 平行移動(図3 a)

配置面に沿って自由度2で平行移動する。移動方向はマウスの移動方向によって決まる。

(2) 回転(図3 b)

配置面に沿って自由度1で回転する。回転軸は部品の中心を通り配置面に垂直な方向である。



①部品ピック ②マウス移動 ③部品ドラッグ

図3 2D移動操作

3.3 部品の整列操作

部品の整列操作は、部品を配置した面上で正確に動かす操作である(図4)。指定した面に平行にする平行化

と、指定した面に接触させる接触化がある。平行化しさらに接触化すると部品と部品を面で接するようになる。

接触化は、発泡スチロールを他の発泡スチロールと接触するように動かすのに相当する。

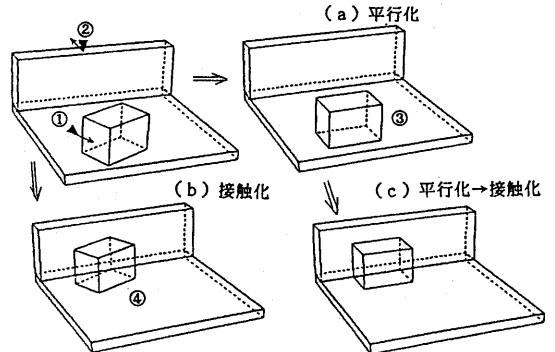
前述の2D移動操作によって部品をおおまかに並べた後、必要に応じて精密に位置ぎめしていくのに用いる。

(1) 平行化(図4 a)

部品の面が参照面と平行になるように、部品が配置面に沿って自動的に回転する。部品の面と参照面が傾いている場合には、配置面に各面の法線ベクトルを投影した線1、線2が平行になるように回転する(図5)。

(2) 接触化(図4 b)

部品の面(の境界)が参照面(の延長平面)に接触するように、部品が配置面に沿って自動的に平行移動する。移動方向は、参照面の法線を配置面に投影した方向1となる(図6)。



①部品の面ピック ②参照面ピック
③部品平行化 ④部品接触化

図4 整列操作

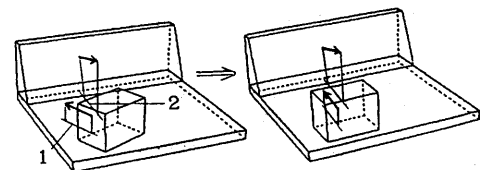


図5 部品の面と参照面が傾いている場合の平行化

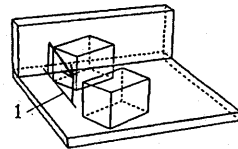


図6 接触化の移動方向

部品の整列操作ではオプションが選択できる。平行化及び接触化の操作において表示される確認メッセージに対して、以下のオプションを入力する。

(1) 方向合わせ (図7 a)

平行化において、角度を数値入力する。2つの面が平行にならずに、指定した角度1になる。

(2) 位置合わせ (図7 b)

接触化において、距離を数値入力する。2つの面が接触せずに、指定した距離2になる。

(3) 接触化における方向指定 (図8)

接触化において、さらに別の面をビックする。移動方向が参照面と垂直にならずに、この面に沿った方向に動く。このオプションは、図9に示すように、2つの面に接するように部品を動かすのに用いる。

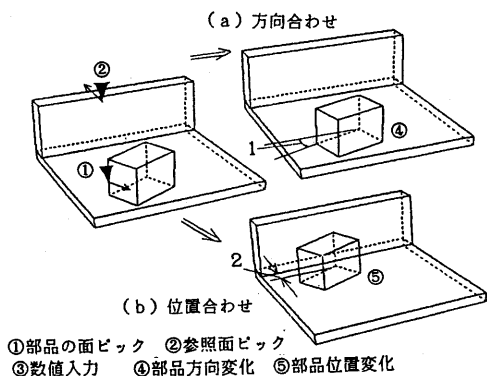
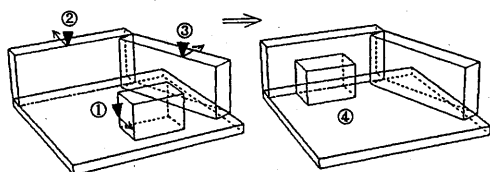
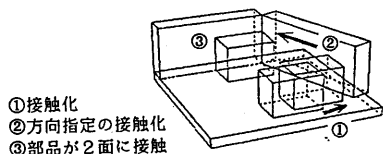


図7 整列操作のオプション



①部品の面ビック ②参照面ビック
③面ビック ④部品接触化

図8 方向指定の接触化



①接触化
②方向指定の接触化
③部品が2面に接触

図9 部品を2つの面に接触させる方法

3.4 部品のフリーな整列操作

部品のフリーな整列操作は、部品を配置面から浮かせたり、部品を配置面と傾けたりという場合に使用する。

部品は、通常、配置面に拘束されているが、フリーな整列操作では、配置面に沿わない自由な動きを可能とする。

(1) 方向合わせ (図10 a)

部品の面が参照面と指定した角度になるように、部品が自動的に回転する。回転軸の方向は、部品の面と参照面の交線とする。すなわち、部品の面が参照面に向かって指定した角度だけ回転していく。

(2) 位置合わせ (図10 b)

部品の面 (の境界) と参照面 (の延長平面) が指定した距離になるように、部品が自動的に平行移動する。移動方向は、参照面の法線方向となる。

図10は配置面に対して部品を傾けた状態でレイアウトした例である。まず、方向合わせによって、部品の底面が配置面と30°になるようにし、さらに、位置合わせによって、配置面と接触するようにした。

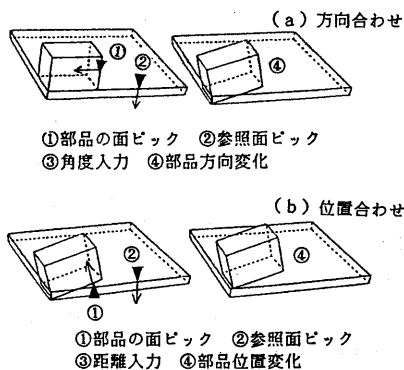


図10 フリーな整列操作

4 部品の階層関係操作

部品の階層関係操作は、発泡スチロール片を動かした時にその上に乗っている発泡スチロールも一緒に動くような動作を実現する。

4.1 階層関係

部品間の階層関係は図11のようなツリー上の構造をしており、部品と部品の配置関係に対応している。各ノードは部品に対応しており、子のノードの部品は親ノードの部品の上に配置されていると考える。

図11では、部品1の上に部品2、部品3が積み重なり、その最上位に部品6があることを意味している。

部品1や部品7はどこにも配置されていない部品(=フリーな部品)であるが、便宜的にノード0に属するようになっている。ノード0は、ワールド座標系のxy平面を表し、フリーな部品の基準面となる。

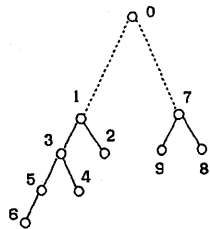


図1.1 階層関係の一例

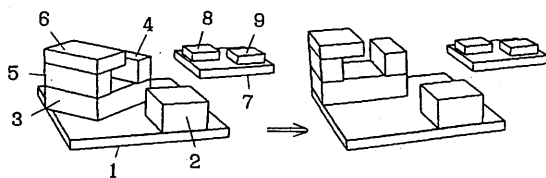


図1.2 図1.1に対応する部品の配置例

4.2 階層関係に基づくレイアウト操作

部品の配置操作を行うと、自動的に配置関係が生成される。例えば、図1.2で、部品3を部品2の上に配置すると、図1.1のノード3以下のサブツリーがノード2の下につく。

部品をフリー化すると、サブツリーごとノード0の下につく。

階層関係により、レイアウト操作はより自然なものとなる。すなわち、図1.2において、部品3を動かすと、階層関係から子孫をたどり、部品3の上に乗っている部品4、部品5、部品6も一緒に動くことになる(図1.2)。

4.3 部品の接合/分解操作

部品の接合操作は、2個の発泡スチロールを接着するような操作である。分解操作はその反対である。接合された部品は、以後1個の部品として扱われる。

階層関係と矛盾させないために、接合できるのは、図1.3の丸で囲んだような場合のみとしている。すなわち次の場合である。

- (1) 同じ配置面に配置されている部品どうし(①)
- (2) 親子関係にある部品どうし(②)
- (3) フリーな部品どうし(③)

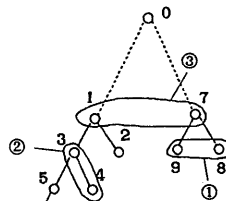


図1.3 接合できる部品どうしの関係

5 部品の形状変形操作

部品の形状変形は、発泡スチロール片をカッターで切るような操作である。

なお、形状データ構造は、凸多面体をベースに表現されている。見かけ上、凹多面体をしていても、内部的には、凸多面体の接合として表現されている。

5.1 平面カーソルによるカット操作

平面カーソルによるカット操作は、視覚的に部品を切断する操作である。

平面カーソルは、マウスを動かして、3次元空間内に置かれた平面1を移動回転させるもので、ユーザは、その平面と対象の部品との交線2を見ながら、平面の位置を決める(図1.4)。平面の位置が決まれば、カット操作によって、部品を切り落とすか分割する。接合操作と組み合わせれば任意の多面体形状が作成できる。

カットされても、凸多面体は必ず凸多面体に分解するので、内部的には常に凸多面体の集まりという形で表現できる。

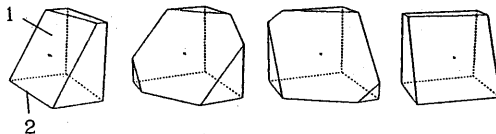


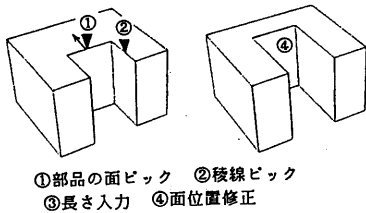
図1.4 平面カーソル

5.2 寸法値による部品の形状変形操作

寸法値による部品の形状変形操作は、数値を与えて部品の面の位置向きを修正する操作である。

平面カーソルによってとりあえず視覚的に変形された形状は、本操作によって正確な形状に修正することができる。

図15のように、面を指示して、その面に連なる稜線の長さ等の値を数値入力すれば、新しい位置の面で形状をカットし直す。



①部品の面ピック ②稜線ピック
③長さ入力 ④面位置修正
図15 寸法値による面の位置修正

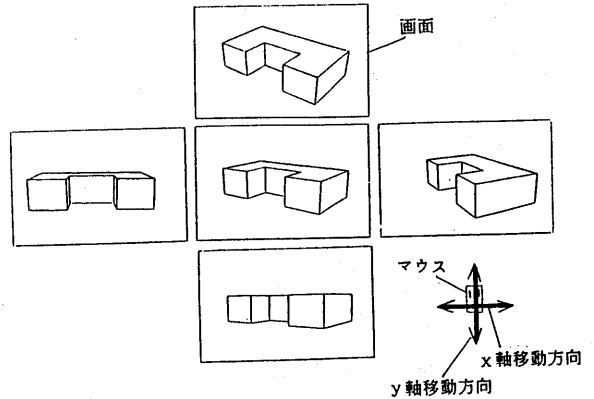


図17 視点回転と画面の見え

6 視点変更操作

視点変更操作では参照水平面の考え方を導入した。

6.1 参照水平面

参照水平面とは、立体をその上に載せて観察する水平なステージのようなもので、3次元空間の任意の位置に設定される。

図16は参照水平面、凝視点、視点の関係を示したものである。凝視点1は画面の中心に投影される点のことである。参照水平面2はこの凝視点を含む平面として定義される。視点3は、凝視点1の周囲を等距離で回転する。視点3の位置は、参照水平面に対する方位角4と仰角5で表される。ビューアップベクトル6(=視点座標系で頭上の方向を示すベクトル)は地球儀における経線方向を向いている。

図16のように参照水平面2上に立体7が置かれたとすると、自由度2の視点回転によって、立体7は、あらゆる方向から観察可能である(図17)。ビューアップベクトルが経線方向を向いているので、投影像が画面に対して傾かない。

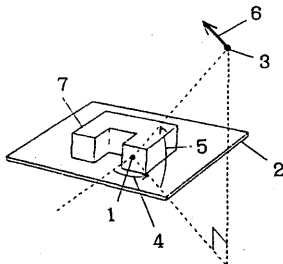


図16 視点と参照水平面

6.2 視点変更操作

視点変更操作によって、視点、凝視点、参照水平面がどう変化するか説明する。

ビューオフセット 図18のように表示画像が上下左右に移動すると、画面中心1が指し示す立体表面上の位置に凝視点が再設定される。参照水平面2もこの凝視点を含むように平行移動してくる。

視点回転 マウスの操作により、視点位置が凝視点まわりに回転する。マウスのx軸方向変位は、図16における視点の方位角4を変化させ、y軸方向変位は、視点の仰角5を変化させる。画像の見え方は、図17のように、参照水平面を水平なステージと考えて部品をあらゆる方向から観察できる。

参照水平面の設定 参照水平面の設定は、任意の面を指示すればよい。指示した面4と平行で、凝視点1を含む平面に、参照水平面2が設定される(図19)。視点回転において水平と考えたい平面を自由に切り替えることができる。

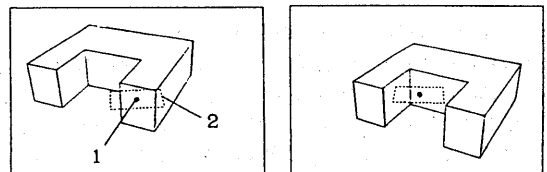


図18 ビューオフセットにおける凝視点と参照水平面

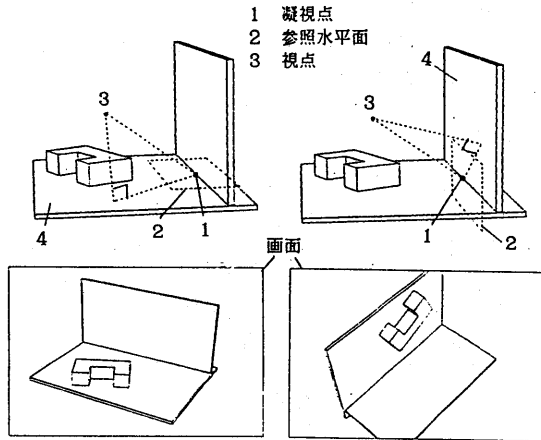


図19 参照水平面の設定と画面の見え

7 人工衛星搭載機器レイアウトへの適用

以上述べてきた3次元レイアウト検討用CADを人工衛星の搭載機器レイアウト設計へ適用した。

7.1 人工衛星の搭載機器レイアウト設計

人工衛星には、数十個から数百個程度の機器が搭載されており、10枚程度のパネル上に配置される。この機器のレイアウトを決定する作業が、搭載機器レイアウト設計である。レイアウトの決定にあたっては、人工衛星全体の重量バランスをはじめ、アンテナ視野、熱量、機器間ケーブル長、機器の据え付け容易性等の条件を満足させる必要がある。

7.2 従来の作業形態

従来は、レイアウト設計は、手作業で行われており、1週間程度の期間を要した。そのプロセスを説明する。

(1) マイラ片を並べる

パネルごとに方眼紙を用意し、その上に、機器形状を型どった(=上から見た2次元図形の)マイラ片を並べていく。図20はその一例である。

各機器に対応するマイラ片をすべて並べて、一応の配置パターンを決める。

(2) 各機器の重心位置を計算する

各機器のローカル座標重心位置は仕様書から得られる。方眼紙上のマイラ片の位置を読み取り、ローカル座標重心位置、全体座標系におけるパネル位置を加味して、各機器の全体座標系における重心位置を計算する。この計算は、電卓などを用いて手作業で行うので、時間がか

かりミスも発生しやすい。

(3) マスプロバティ計算を行う

全ての機器の重心位置データを計算したら、入力ファイルにキー入力し、マスプロバティ計算プログラム実行する。実行後、衛星全体の重量、重心位置、慣性モーメント等が数値で印字される。

(4) (1)～(3)の繰り返し

マスプロバティが許容範囲に入っていないければ、(1)～(3)を繰り返す。

マスプロバティが許容範囲に入っても、熱量解析・アンテナ視野解析などを行い、その結果によっては、再度並べ替えを行う。

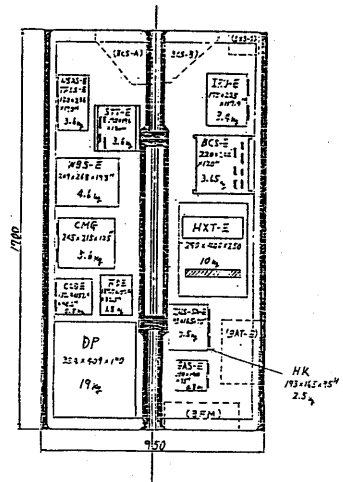


図20 方眼紙にマイラ片を並べた例

7.3 3次元レイアウト検討用CADの利用

上述の人工衛星搭載機器レイアウト設計を、3次元レイアウト検討用CADを用いて行うと次のようになる。

(1) 部品の生成

最初に、必要な部品の形状データ、部品名・重量・ローカル座標重心位置などの属性データを入力する。

(2) レイアウト検討

次に、パネル(これも通常の部品として生成する)上に、これらの部品を配置し、レイアウト操作により並べ替えていく。配置例を図21に示す。

(3) マスプロバティ計算

必要な時点で、マスプロバティを計算させ、衛星全体の重心位置を確認する。

(4) (2)～(3)の繰り返し

マスプロバティが許容範囲に入るまで(2)～(3)を繰り返す。

本システムの導入により以下の効果があった。

- マイラ片を並べるのほとんど同様の操作性でレイアウト検討できる。
- レイアウト検討作業が1～2日に短縮された。人為ミスが入り込む余地が小さくなり、設計結果の信頼度が高まった。
- 機器どうしの3次元的干渉は厳密にチェックできるようになった。
- 機器の据え付け性等を視覚的にチェックしやすくなった。

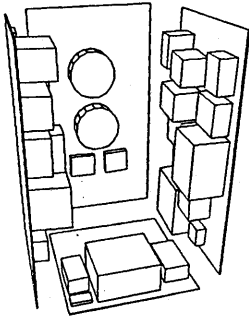


図21 レイアウト検討用CADによる配置例

8 おわりに

3次元レイアウト検討用CADの機能とその人工衛星搭載機器レイアウトへの適用事例について報告した。小規模ながら使い勝手のよいCADが試作できたと考える。

なお、今後の課題としては、

- 配置ルールによる知的なレイアウト支援ツールの実現
- 機能の拡張性を高めるオブジェクト指向記述の導入
- 拘束関係を表現するアセンブリモデラへの発展等があげられる。

謝辞

本研究の機会を与えてくださった福地弘道ターミナルシステム研究部長に感謝いたします。

参考文献

- [1] Eric Allan Bier, "Skitters and Jacks: Interactive 3D Positioning Tools", Proceedings 1986 Workshop on Interactive 3D Graphics, ACM, 1986
- [2] David Neville Rocheleau and Kunwoo Lee, "System for interactive assembly modelling", Computer-Aided Design, 19-2, 1987
- [3] 関根, 寺嶋「平面カーソルを用いた対話的な形状モデリング」, 情報処理学会グラフィクスとCAD研究会報告, 28-2, 1987
- [4] 関根, 寺嶋「部品レイアウト機能を持たせた視覚的な形状モデリング」, 情報処理学会グラフィクスとCADシンポジウム論文集, 1987